

分布式冷热电联供能源系统与经济发展的关系

华 贲

(华南理工大学天然气利用研究中心, 广东 广州 510640)

摘 要 “十二五”期间中国 15.7 万亿元的增量经济大部分将在新规划的新区实现,但从各地正在规划和建设的新区情况来看,缺少从一次能源到终端需求的冷、热、电、汽全过程高效联供的分布式供能规划。据推算,若“十二五”期间新区能效不变,工业和建筑物燃料需求将增加 3×10^8 t 标煤/a,而这显然是不可能的。新规划区域能源模式创新、提高能效是“十二五”中国经济发展的关键,采用天然气分布式冷热电联供能源系统(DES/CCHP),可使能源终端供应能效成倍提高。“十二五”期间中国必须从区域经济发展的能源保障高度来规划分布式冷热电联供,规划决策中要按照具体情况,以经济性、能效和碳排放指标是否最优为判据。CCHP 可以调峰换取电价,实现互利双赢。制订区域 DES/CCHP 规划时应注意区域能源规划先行,摆脱热电联产的思维定势,树立冷热电联供的科学理念,不可忽视向居民供应生活热水起到的提高能效的作用,以及如何确定电力负荷、装机容量和节能减排指标等问题。

关键词 增量经济 分布式冷热电联供 经济性 能效 碳排放 调峰 规划决策

1 “十二五”中国经济发展、增量经济空间布局特点

“十二五”期间中国正处于工业化和城市化的中期,由于绝大部分现有老城区人口已过于密集,城市化与工业化、产业转型升级的相互结合要求把工业区、商业中心(CBD)、住宅区三类功能区集成在一起,在现有老城区周边规划建设一批十至几十平方千米大小不等的“生态园区”、“产业转移园区”、“技术经济开发区”等新区。目前全国各地的地级以上市都在这样做,仅珠三角的几个城市正在规划建设的这类园区就有 100 多个。“十二五”期间中国经济还要“稳增长”,按照年均 8.5% 的增速,2015 年中国经济总量按 2005 年不变价计算,将比 2010 年的 31.4 万亿元增长 50%,增加 15.7 万亿元。这部分增量经济大部分将在上述新规划的区域中实现,这也是转变经济增长方式,实现资源节约型、环境友好型,低消耗、高增长的科学发展的主战场。

但从各地正在规划和建设的新区情况来看,许多规划内容都只集中于产业结构和空间布局,能源供应只考虑到供水、电、气、交通(油、煤运输)等,数量按照过去的能耗数据线性外推。一部分考虑到节能减排的,大多也是局限于热电联产、发电供热,而没有从一次能源到终端需求的冷、热、电、汽全过程高效联供的分布式供能规划。其主要原因据说是分

布式能源是指小的、兆瓦级的 CCHP,而且只能占总能耗的 10% 左右,与区域整体能源规划关系不大。

2 “十二五”经济发展与节能减排目标的矛盾

根据权威数据推算,我国 2005 年的能源强度为 1.276 t 标煤/万元 GDP,由能耗 22.3×10^8 t 标煤可推算出 GDP 为 17.5 万亿元。2010 年能源强度下降 19%,为 1.034 t 标煤/万元 GDP,由能耗 32.5×10^8 t 标煤可反推出 GDP 折 2005 年不变价为 31.4 万亿元,由此计算出这 5 年的能源弹性系数为 0.576^[1]。

按照“十二五”期间 GDP 年均增长 8.5%,达到 47.2 万亿元计,若保持能源强度不变,则 2015 年总能耗将达到 48.8×10^8 t 标煤,这与迄今各省上报中央的 2015 年能耗总和近 50×10^8 t 标煤基本相符。但能耗总量增加这么多显然是不可能的。

另一方面,主要在新区实现的 15.7 万亿元增量经济,其终端能耗的 80% 将是工业和建筑物耗用,按照 2007 年的统计数据,电/燃料比为 1:3。据 2010

作者简介:华贲,华南理工大学教授,享受政府特殊津贴,1959 年毕业于大连工学院化工系,曾担任国家重点基础研究(973)项目《高效节能的关键科学问题》首席科学家,现任华南理工大学天然气利用研究中心主任,已发表论文 300 余篇,撰写及参与编写科技著作 10 部。E-mail:cehuaben@scut.edu.cn

年统计数据,煤的终端耗用中发电占46%,钢铁、水泥和煤化工占29%,工业和建筑物燃料占22%(约 4.8×10^8 t 标煤)^[2],另外有60%的天然气约 1.3×10^8 t 标煤用作燃料,即工业和建筑物燃料消耗总量约为 6.1×10^8 t 标煤。因此,若新区能效不变,燃料需求将增加 3×10^8 t 标煤/a,或动力煤 4.2×10^8 t/a。

根据《中国能源报》2011年6月27日的报道,“十二五”电力规划新增煤电 2.5×10^8 kW,耗煤增加 5.7×10^8 t/a,迄今已批准现代煤化工项目耗煤 6.3×10^8 t/a,合计 12×10^8 t/a,折标准煤 8.6×10^8 t/a。这已经超过了“十二五”煤耗在2010年基础上 7.5×10^8 t/a的净增量,即“十二五”期间不可能增加 4.2×10^8 t/a用作新区热电联产的燃料。

3 新规划区域能源模式创新、提高能效是“十二五”中国经济发展的关键

国家“十二五”电力发展规划中,煤电、核电、可再生能源发电都有较大增长,总发电量将超过 6×10^{12} kW·h/a,能够保障电力供应。关键是新增的工业和建筑物终端消费的燃料已不可能像“十一五”那样靠燃煤热电联产,而只能靠超速发展天然气。规划到2015年天然气加煤制气总共 2600×10^8 m³/a,比2010年净增 1600×10^8 m³/a(折合 2×10^8 t 标煤/a),其中70%以上、约 1300×10^8 m³/a可用于新区终端供能。

调整产业结构、控制高耗能产业,可使新区电/燃料比调整到4:6,相应的2015年新区燃料需求减少到 2.4×10^8 t 标煤/a。通过冷热电联供大幅度提高系统能效,可以使新增 1200×10^8 m³/a天然气(折合 1.54×10^8 t 标煤/a)加上部分外来电力满足新区终端能源需求。

最近的大量规划实例表明,只要做好区域能源规划,改变过去孤立、分散的用能模式(空调用分体或楼宇中央空调,采暖用1MPa蒸汽,热水采用家用电或天然气热水器,工业蒸汽用锅炉),充分利用新区统一建设、三种功能区集成布置的机遇,采用天然气分布式冷热电联供系统,使冷、热、蒸汽终端供应能效成倍提高是完全可能的^[3]。

4 从区域经济发展的能源保障高度规划分布式冷热电联供^[3]

“分布式冷热电联供能源系统”(或简称“分布式供能系统”,DES/CCHP)的核心特征是藉冷热电

联合就地直供实现最高能效,因而其必须建设在冷、热、汽、电负荷中心。

规模大小不是DES的约束条件。西方国家的城市建设在上世纪70年代早已成型,在老城区新建DES只能根据具体情况,有什么条件就建多大的项目。美国1999年的980个项目中,覆盖一定区域、平均装机容量78MW的27个项目占到了装机容量的42.8%;而近80%都是小的、不到1MW的项目。较大的发电机组效率高、单位投资小,与效率高的大城市集中供热以及区域供冷(DCS)结合起来,构成较大规模的DES,效率和经济性自然比小的、兆瓦级的好得多。但绝不是越大越好,DES/CCHP的经济规模是由就地直供的冷、热水和蒸汽的经济输送距离所决定的。按照一个能源站带几个DCS、建设部规定DCS的5~12℃冷水输送距离小于1.5km、8~10km的蒸汽和采暖热水经济输送距离测算,最大的DES/CCHP可以覆盖几十平方千米的范围,依据人口和产业规模,电力装机可达数百兆瓦。

因此,在中国“十二五”的特定历史条件下,必须从区域经济发展的能源保障高度规划上千个新区的分布式冷热电联供能源系统,为此就有必要尽可能配合新区规划建设较大型的DES/CCHP,而现有老城区则因地制宜发展各种不同类型和规模的DES/CCHP。某些新区在统筹规划下,当大型DES/CCHP未建设之前,在先期建设的局部先上较小型的CCHP也很自然。总之,DES规划决策必须完全按照具体情况,以经济性、能效和碳排放指标是否最优为判据,不能从概念出发凭主观确定规模。

还需指出,“十二五”规划上千个新区的历史机遇是空前绝后的。绝大多数新区规划分期都是以2015年为近期,2020年及以后为中远期,“十三五”是这些区域的成长期,决不可能另外再规划上千个新的新区。如果现在不做好规划而按照传统模式建设,“十三五”时再改造,恐怕将要付出巨大代价。

5 CCHP以调峰换取电价,实现互利双赢^[3,4]

CCHP虽然能大幅度提高天然气利用效率,但在中国目前条件下,煤电尚且亏损,更何况天然气发电,广东数十个天然气调峰电厂都是靠财政补贴或大用户加收电费才能运行的,这并不正常。随着天然气定价机制改革提上日程,矛盾将更加突出。

解决的方法是CCHP以调峰换取电价,实现互

利双赢。随着电力系统中核电和可再生能源发电的比重越来越高,昼夜调峰问题越来越大。2015年和2020年我国核电和风电装机比重将增大到8%和13.2%,使昼夜调峰和长距离输电面临的挑战日益增大,而规划中最适宜调峰的天然气发电到2015年和2020年只占到4.5%和6.6%。经测算,如果上述新区普遍采用DES/CCHP,则同期天然气发电可占到8.4%和14.4%,基本上能解决电网昼夜调峰问题,并可节省大量建设抽水蓄能电站的投资。上述区域型DES/CCHP大部分可以按照16h/d的模式运行,夜间停机时制冷改用电网的低价谷电,16h/d生产的生活热水储存在负荷中心够24h用量的储罐中,蒸汽同步供16h/d运行的离散制造业用户。只有24h连续生产的过程工业企业需要专设机组供应蒸汽,且大企业都有自备电站。因此,只要理顺生产关系架构,天然气冷热电联供电站按16h/d运行,兼作调峰电站,在技术上和工程上是完全可行的,这也是基于当代中国特定国情的集成创新。

作为调峰机组,要求给予峰段/平段电价是合理的。可按照占全国总电量75%的大工业用电价格制定本省统一的百兆瓦级天然气DES上网电价,具体方法是:若大工业峰段和平段用电电价分别为 p_p 和 p_e ,则天然气DES峰段和平段的上网电价定为 $p_p - \alpha$ 和 $p_e - \alpha$, $\alpha < 0.1$ 元/(kW·h)。 α 是协调电网与发电企业利益的关键参数,由电监局和物价局测算确定,并根据经济条件变化进行调整。按目前广东省情况测算, α 为0.07元/(kW·h)就能使CCHP项目在经济上可行,同时电网公司可节省数百亿元建设抽水蓄能电站的投资和纯尖峰负荷高价电费。

6 区域DES/CCHP系统规划工作中的几个问题

笔者根据近年来参与制订区域DES/CCHP能源规划的体会,认为处理好下列关系是DES/CCHP能否达到经济、高效、碳减排三个指标的关键。

6.1 区域能源规划先行

在新开发区域规划建设DES/CCHP不能仅仅着眼所划定的一个小局部和眼前的负荷,必须拓宽时空视野,首先做好整个园区从近期到中、远期的能源规划,分期分批执行。近期规划要做深做细,必须随情况的变化而滚动修改。只有这样由大及小、由远及近,才能充分把各种终端需求集成互补,求得尽可能高的能效,也才不会使近期投入的设施到

中期时不得不报废。

区域能源规划的基础是新园区详细的总体规划发展,包括近期和远期的土地面积、人口、产业结构及空间布局,工业、公共建筑、住宅等各类占地面积和建筑面积。只有掌握这些数据才能分析所有的冷、热、电、汽终端能源需求负荷,以及它们的昼夜和季节变化规律,这是制定DES/CCHP优化方案的科学基础。在区域能源规划的基础上,才能制定天然气发电项目建议书(或预可研报告),上报有关部门,启动立项审批、环评、可研、核准等程序。

6.2 必须摆脱热电联产的思维定势,树立冷热电联供的科学理念^[5]

热电联产是上世纪燃煤时代的能源技术,我国“十一五”期间天然气还不能充分供应,沿用燃煤热电联产是可以理解的,而在天然气成为工业和建筑物燃料主体的“十二五”还套用热电联产的思路就不对了。实际上,热电联产只是能源转换子系统的技术理念,仅仅着眼于一次能源转换效率,而天然气冷热电联供则是着眼于能源转换到终端利用的全过程,着眼于整个大系统的全局优化。二者的关系可概括为:CCHP=CHP+科学用能、系统优化。

迄今流行的思维定势是:CHP=发电上网+抽蒸汽供工业或供暖,CCHP=CHP+蒸汽吸收制冷,以科学用能、系统优化为准则的冷热电联供远不是这样简单。首先是电力尽可能就地直供,节省升、降压设施投资和损耗;其次是并不用1MPa蒸汽加热供暖水,而是利用汽轮机排汽的冷凝潜热,用压力尽可能低的抽汽加热或热泵来达到供暖循环水的温度(60~45℃),这种科学用能的方案可使同等机组的供暖面积增加50%。在北京市 $6.5 \times 10^8 \text{m}^2$ 供暖面积中只有 $1.5 \times 10^8 \text{m}^2$ 采用CHP,冬季日耗天然气 $8000 \times 10^4 \text{m}^3$ 。如果能够充分利用六环路以外远程燃煤电厂的废热+市区内天然气DES/CCHP,天然气日耗量可以减半。至于“CCHP=CHP+蒸汽吸收制冷”更是极其简单化和错误的。特别是对于规模化的DCS,不仅电压压缩制冷比蒸汽吸收制冷效率高,而且在CCHP昼开夜停、协同电网调峰的格局下有最经济的效果。

6.3 向居民供生活热水提高能效的作用不可忽视^[6]

生活热水占建筑物能耗的15%,迄今都是用电和天然气直接把水加热(冬季15~70℃),这是典型

的高能低用。规模化的 CCHP 以烟气废热和汽轮机乏汽冷凝潜热为主, 辅以少量极低压抽汽或热泵, 生产等量热水的能耗可节省 80% 以上, 显著节省一次能源, 可使区域总能效提高 4~8 个百分点。

基于中国国情, 新区热水用户有宾馆酒店、企业职工宿舍、新建住宅小区三类, 覆盖大部分人口。政府可规定新建小区的开发商把热水管、水表安装到每户, 热水费由物业管理公司按月耗量代收。

6.4 电力负荷和装机容量的确定

按照电力发展规划, 2015 年我国人均用电量接近 $5000\text{kW}\cdot\text{h/a}$, 在劳动生产率较高、实现增量经济主力的新区将达 $8000\sim 10000\text{kW}\cdot\text{h/a}$ 。在“西电”占总量一半以上的中国, 发达地区负荷中心本地自发电源占一半左右才能起到调峰和保障供应的作用。但目前各大城市老城区都缺乏自发电源, 依赖外网供电。在这种情况下, 紧邻老城区的新开发区域就兼有协助老城区调峰和保障供电的任务。因而, 新区总耗电量按人均 $8000\sim 10000\text{kW}\cdot\text{h/a}$ 规划的同时, 还必须考虑配合、协助邻近老城区调峰的任务。

一个典型的例子是珠海横琴新区, 规划到 2020 年 25 万人口, 耗电 $20\times 10^8\text{kW}\cdot\text{h/a}$ 。但考虑到邻近年耗电数百亿千瓦时的珠海市中心和澳门特区的调峰及供电保障需求, 规划发电装机 780MW, 年发电量 $37\times 10^8\text{kW}\cdot\text{h}$, 其中大约 $15\times 10^8\text{kW}\cdot\text{h/a}$ 峰荷及腰荷自用, $22\times 10^8\text{kW}\cdot\text{h/a}$ 通过 220kV 电网供珠海市, 夜间又耗用约 $5\times 10^8\text{kW}\cdot\text{h/a}$ 的电网低谷电负荷, 为珠海电网双向“削峰填谷”。

6.5 在区域能源规划中对可再生能源的考虑

按照规划, 2015 年可再生能源在总能耗中将占 11% 左右, 是不是区域能源规划也得达到这个比率? 显然不是。因为 2015 年中国可再生能源的 80% 以上都是主要在西部地区集中的大型水电和风电, 沿海城市周边新区自身范围内可经济利用的各种可再生能源资源规模都不大, 占新区所需总能耗的比率都很小。当然, 生物质废弃物等应当就地资源化利用, 太阳能光伏、热利用, 深、浅层地热利用等都应当列入规划之中。而这并不影响“十二五”新区能源主要依靠天然气 DES/CCHP 的大局。

随着可再生能源占总能耗的比重越来越大, 分散利用技术和机制将越来越完善, 如屋顶光伏发电能够自动接入低压配电网。10~20 年以后的分布式

就地供能系统中天然气和可再生能源的比重肯定会逐步演变, 例如横琴新区南部海域规划建设的海上风电场, 规划通过海底电缆从横琴上岸, 届时横琴新区 DES/CCHP 增建若干快速启停的天然气发电机组, 构成 IWCC 系统, 就能够把随机变化的“劣质”风电变为优质电, 也将使横琴新区可再生能源占一次能源的比重大幅度增加。

6.6 区域能源规划与节能减排指标的关联

在不包括特大型有机化工企业的新区, 终端耗能除了上述工业和建筑物之外, 还有交通耗能。一个完整的区域能源规划应当包括交通, 但本文不拟深入展开, 仅强调指出, “十二五”也是交通能源多元化的转折点。可以预期的重大走势, 一是地铁、高铁等电力公共交通的强化将对冲私人汽车交通的恶性膨胀。二是液化天然气汽车(LNGV)和压缩天然气汽车(CNGV)得以发展, 包括客货交通运输车船, 矿山、码头、渔业、建筑工地、农业等原来耗用柴油的设备以 LNG 替代。预计“十二五”是规模化起步阶段, “十三五”将占到显著比率, 占天然气消耗量 15% 左右。在新区已有“十二五”交通总体规划的基础上, 做好包括车船改装或更新、加气站布局、LNG/CNG 供应等几条产业链在内的 LNGV/CNGV 发展规划, 就能够算出目标年交通总量下天然气替代油品的比率^[7]。

尽管是在新区, 统筹规划的 CCHP 也不可能覆盖所有的终端用能, 如高温工业炉用的天然气, 边远地区和特殊需求的油品和液化石油气(LPG), 还有商用和民用的炊事用天然气等。加上这部分, 就能比较清楚地列出全区目标年从一次能源到终端利用的能源总量和品种, 耗用的外来网电必须按照届时全国或所在省份网电电源的实际构成折算为一次能源, 最后推算出能源总量中煤、油、天然气和可再生能源的比率。按照文献[8、9]给出的 $\omega=2.4\gamma$ 关系, 已知 GDP, 便可算出一次能源中高碳能源比率 γ 、能源碳强度 ω 、能源强度 ε 和碳强度 κ , 进而算出届时 CO_2 排放总量。

如果能源强度和排放总量数据未能达到国家和省、市下达的指标, 则需调整产业结构或者能源规划方案, 直至能够达标。这是“十二五”中国经济发展是否能够得到可靠能源保障, 同时节能减排取得预期进展的关键。脱离这种客观规律, 仅为了在

“分布式能源指导意见”提出的 1000 个项目中“抢得先机”或占领市场,而没有进行认真规划,只按照局部企业用能现状拼凑出来的分布式能源项目,是不可能达到支撑区域经济发展、提高能效及节能减排目标的。

参考文献:

- [1] 节能减排规划或年底出台[N].中国能源报,2011-10-31(1).
- [2] 陈俊武,陈香生.中国中长期碳减排战略目标初探(II)——中国煤炭消费过程的碳排放及减排措施[J].中外能源,2011,16(6):1-7.
- [3] 华贲.天然气发电项目分类与审批办法建议[J].沈阳工程学院学报,2011,7(4):289-293
- [4] 华贲.区域分布式能源与智能电网安保调峰的战略协同[J].中国电力:技术版,2011(3):1-6.
- [5] 华贲.从热电联产到天然气冷热电联供[J].中外能源,2011,16(11):25-29.
- [6] 华贲.区域型分布式冷热电联供能源系统的规划设计[J].中外能源,2011,16(3):13-20.
- [7] 华贲.天然气在向低碳能源转型中的关键作用[J].天然气工业,2011,31(12):1-5.
- [8] 华贲.产业结构、能效与一次能源构成对能源强度的影响分析[J].中外能源,2010,15(5):1-7.
- [9] HUA Ben. Correlation between carbon emissions and energy structure-Reliability analysis of low carbon target[J].Frontier in Energy and Power Engineering of China,2010,4(4):1-7.

(编辑 张 峰)

Distributed Combined Cooling, Heating, and Power Generation System and Economic Growth

Hua Ben

(Research Center of Natural Gas, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640)

[Abstract] During the Twelfth Five Year Plan period, most of the 1.57 billion yuan economic increment in China will come from newly planned residential communities. However, as far as the new communities under planning and construction across the country are concerned, there has been no efficient distributed combined cooling, heating, power (CCHP) and steam generation system in place which links the primary energy source and the end user need. Estimates show that if the energy efficiency of these new communities remain unchanged during the Twelfth Five Year Plan period, the fuel demand from industrial consumers and buildings will rise by 3×10^8 t of coal equivalent per year. This, however, is obviously impossible. Innovation in the way how energy is consumed and improved energy efficiency of newly planned communities will be the key to maintaining healthy growth of the Chinese economy during the Twelfth Five Year Plan period. Introducing natural gas-based distributed energy system and combined cooling, heating and power generation (DES/CCHP) can multiply the energy efficiency of energy supply terminals. During the Twelfth Five Year Plan period, China must plan distributed combined cooling, heating and power generation systems to ensure energy security for regional economic growth and endeavor to achieve the optimum economic viability, energy efficiency and carbon emission index in making decisions. CCHP can provide peak-shaving to exchange for preferential electricity prices to achieve a win-win scenario. When making DES/CCHP plans, priority should be given to regional energy planning and the combined heating and power generation thinking set must be shaken off and the scientific concept of CCHP must be established. The role of hot water supply to residents in raising energy efficiency should not be neglected. Other key issues include how power load, installed generating capacity and energy saving and emission reduction indices should be determined.

[Keywords] economic increment; distributed cooling, heating and power generation; economic viability; energy efficiency; carbon emission; peak-shaving; planning and decision making